

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

I.N.V. E – 410 – 07

1. OBJETO

- 1.1** Este ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y se limita a concretos con un peso unitario superior a 800 kg/m³ (50 lb/pie³)
- 1.2** El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste.
- 1.3** Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 1.4** Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso, si los hay. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

2. USO Y SIGNIFICADO

- 2.1** Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares.
- 2.2** Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad intrínseca fundamental del concreto elaborado con determinados materiales. Los valores obtenidos dependen del tamaño y forma del espécimen, de la batchada, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, moldes y fabricación, así como de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.

3. EQUIPO

- 3.1** *Máquina de Ensayo* – La máquina de ensayo debe ser de un tipo tal, que tenga suficiente capacidad de carga y que reúna las condiciones de velocidad descritas en la Sección 5.5.

3.1.1 Se hará una verificación de la calibración de la máquina de ensayo de acuerdo con la norma ASTM E-4. "Práctica para la verificación de la carga de las máquinas de Ensayo"; en las siguientes situaciones:

- a) Al menos anualmente y nunca excedido de trece (13) meses.
- b) En la instalación original o en la relocalización de la máquina.
- c) Inmediatamente después de hacer reparaciones o ajustes que puedan afectar de cualquier modo la operación del sistema de pesas o los valores mostrados, excepto para el ajuste a cero que compensa el peso propio del equipo o del espécimen, o ambos.
- d) Cuando quiera que haya una razón para dudar de la exactitud de los resultados, sin tener en cuenta el intervalo de tiempo desde la última verificación.

3.1.2 *Diseño* – La máquina debe operar eléctricamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques. Si sólo tiene una velocidad de carga (que cumpla los requisitos de la Sección 5.5), deberá estar provista de medios suplementarios para cargar a una velocidad apropiada para la verificación. Estos medios suplementarios de carga se pueden operar manualmente o por medio de motor.

El espacio disponible para los especímenes debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en posición legible, un aparato de calibración elástica de suficiente capacidad para cubrir el intervalo potencial de carga de la máquina de ensayo y que cumpla con los requisitos de la norma ASTM E 74. Los aparatos de calibración elástica generalmente disponibles y más comúnmente usados para este propósito, son el anillo de carga circular de ensayo y las celdas de carga.

3.1.3 *Precisión* – La precisión de la máquina de ensayo debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para la máquina, no debe exceder del $\pm 1.0\%$ de la carga indicada.
- b) La precisión de la máquina de ensayo se debe verificar aplicando cinco (5) cargas de ensayo en cuatro (4) incrementos aproximadamente iguales en orden ascendente. La diferencia entre dos cargas de ensayo sucesivas cualesquiera no debe exceder en más de un tercio de la diferencia entre la máxima y la mínima carga de ensayo.
- c) La carga del ensayo tal y como se indica por la máquina de ensayo y la carga aplicada calculada a partir de las lecturas de los elementos de verificación, se deben registrar en cada punto de ensayo. Se debe calcular el error, E, y el porcentaje de error, Ep, para cada punto de estos datos como sigue:

$$E = A - B$$

$$Ep = 100 \frac{A - B}{B}$$

donde:

A = carga, kN (o lbf) indicada por la máquina que está siendo verificada, y

B = carga aplicada, kN (o lbf) determinada por el elemento de calibración.

En el informe sobre la verificación de una máquina de ensayo, se debe consignar dentro de qué intervalo de carga se encontró que se ajustaba a los requisitos de la especificación, en lugar de informar una aceptación o rechazo general. En ningún caso el intervalo de carga deberá incluir cargas por debajo del valor que sea 100 veces el cambio más pequeño de carga que pueda estimar el mecanismo indicador de carga de la máquina de ensayo o cargas dentro de aquella porción del intervalo por debajo del 10% de la máxima capacidad del mismo.

- d) En ningún caso se debe consignar el intervalo de carga incluyendo cargas por fuera del rango de las cargas aplicadas durante el ensayo verificación.
- e) La carga indicada por la máquina de ensayo no se debe corregir ni mediante cálculos, ni mediante el uso de diagramas de calibración para obtener valores dentro de la variación permisible requerida.

- 3.2 La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga, de acero con caras endurecidas (Nota 1), uno de los cuales es un bloque con rótula el cual descansa sobre la superficie superior de la muestra, y el otro un bloque sólido sobre el cual se colocará el espécimen.

Las superficies de los bloques que estarán en contacto con el espécimen deben tener una dimensión al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ensayar. Excepto para los círculos concéntricos descritos a continuación, las caras de carga no se deben separar del plano en más de 0.02 mm (0.001") en cualquiera de los 150 mm (6") de los bloques de 150 mm (6") de diámetro o mayores, o en más de 0.02 mm (0.001") de cualquier bloque con diámetro más pequeño; los bloques nuevos se deben fabricar con la mitad de estas tolerancias.

Cuando el diámetro de la cara de carga con rótula exceda el diámetro del espécimen en más de 13 mm (0.5"), se deben inscribir círculos concéntricos con una profundidad no mayor de 0.8 mm (0.03") y un ancho no mayor a 1.0 mm (0.04") para facilitar el centrado.

Nota 1.- La dureza "Rockwell" de las caras de los bloques de carga utilizados para este ensayo no debe ser menor de 55 HRC.

- 3.2.1 El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Debe ser adecuado para proveer una superficie maquinada que cumpla con los requerimientos anteriormente indicados (Nota 2). Las superficies superiores e

inferiores deben ser paralelas una a la otra. El bloque se debe poder asegurar a la platina de la máquina de ensayo. Su dimensión horizontal menor debe ser al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen ensayado. Los círculos concéntricos que se describen en la Sección 3.2 son opcionales.

- b) Se hará un centrado final con respecto al bloque superior cuando se use el bloque inferior para ayudar al centrado del espécimen. El centro de los anillos concéntricos, cuando éstos existan, o el centro del bloque mismo debe estar directamente debajo del centro de la rótula.
- c) El bloque de carga inferior debe tener al menos 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo, y al menos 22.5 mm (0.9") después de cualquier operación de afinado de la superficie, excepto cuando esté en completo e íntimo contacto con la platina interior de la máquina de ensayo, caso en el cual el espesor podrá ser de sólo 10 mm (0.38").

Nota 2.- Si la máquina de ensayo está diseñada de tal forma que la plataforma sola se pueda mantener con su superficie en las condiciones especificadas, no se requerirá un bloque inferior.

3.2.2 El bloque de carga con rótula debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El diámetro máximo de la cara de carga del bloque con rótula no debe exceder los valores que se dan a continuación:

Tabla 1. Especificaciones de diámetro de la cara de carga

Diámetro del espécimen de ensayo, mm (pulg)	Diámetro máximo de la cara de carga, mm (pulg)
50 (2)	105 (4)
75 (3)	130 (5)
100 (4)	165 (6.5)
150 (6)	255 (10)
200 (8)	280 (11)

Nota 3.- Se aceptan las superficies cuadradas, siempre y cuando el diámetro máximo del círculo inscrito más grande no exceda el diámetro indicado en la tabla.

- b) El centro de la rótula debe coincidir con el de la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la rótula. El diámetro de la rótula debe ser, al menos, el 75% del diámetro de la muestra que se va a ensayar.
- c) La rótula debe ser diseñada de tal forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones permanentes debido al uso, con cargas de hasta 82.7 MPa (12.000 psi) sobre el espécimen de prueba.
- d) Las superficies de la rótula se deben mantener limpias y lubricadas con aceite de motor convencional. Después de entrar en contacto con el espécimen y de aplicar una pequeña carga inicial, se debe evitar cualquier movimiento adicional del bloque con rótula.

- e) Si el radio de la rótula es más pequeño que el radio del espécimen más grande a ser ensayado, la porción de la superficie de carga que se extiende más allá de la rótula debe tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio del espécimen. La menor dimensión de la superficie de carga debe ser al menos igual que el diámetro de la rótula (Ver Figura 1).
- f) La porción móvil del bloque de carga se debe sostener lo más segura que sea posible, pero el diseño debe ser tal que la cara de carga pueda girar libremente e inclinarse al menos 4° en cualquier dirección.

3.3 *Indicador de Carga* – Si la carga de una máquina de compresión usada en el ensayo de concreto se registra en un dial, éste debe tener una escala graduada que permita leer con una precisión del 0.1% de la carga total de la escala. (Nota 4). El dial debe ser legible dentro del 1% de la carga indicada a cualquier nivel de carga dado dentro del intervalo de carga. En ningún caso se debe considerar el intervalo de carga de un dial que incluya cargas por debajo del valor que sea 100 veces el más pequeño cambio de carga que se pueda leer sobre la escala. La escala debe tener una línea y un número que indique el cero (0). El puntero debe tener una longitud tal, que alcance las marcas indicadoras. El espesor del extremo del puntero no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un dispositivo de ajuste al cero, accesible desde afuera, y con un indicador apropiado para que en todo momento y hasta cuando sea reiniciado indique, con una exactitud del 1%, la carga máxima aplicada al espécimen.

Nota 4.- La distancia más cercana, razonablemente legible se considera que es 0.5 mm (0.02”) a lo largo del arco descrito por el extremo del puntero.

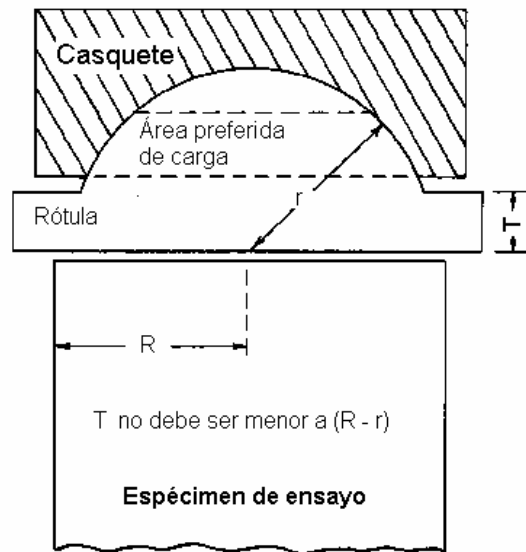
Si la máquina de ensayos indica la carga en forma digital, el número debe ser suficientemente grande para que sea legible, con un incremento numérico igual o menor al 0.05% de la carga total de la escala y dentro del 1.0% de la carga indicada en cualquier nivel dentro del rango de valores de carga dados.

Se deben realizar los ajustes para que la aguja señale el cero verdadero cuando se encuentre con carga cero (0). Se debe proveer un indicador de carga máxima que, en todo momento, hasta cuando la máquina sea reiniciada, indique con una precisión del 1%, la carga máxima que fue aplicada al espécimen.

4 MUESTRAS

4.1 Las muestras no se deben ensayar si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más de 2% (Nota 5).

Nota 5.- Esto puede ocurrir cuando uno de los moldes sea dañado o deformado durante su transporte, cuando se usen moldes flexibles y éstos se deformen durante el moldeo, o cuando una muestra proveniente del núcleo se defleccione o tuerza durante el proceso de perforación.



Nota: Se deben tomar precauciones para sostener la rótula en la concavidad y para sostener la unidad entera en la máquina de ensayo.

Figura 1. Dibujo esquemático de un bloque de carga típico con rótula

- 4.2 Ninguna de las muestras ensayadas a compresión se debe separar de la perpendicularidad del eje en más de 0.5° (equivalentes a 3 mm en 300 mm (0.12" en 12") aproximadamente). El extremo de una muestra que no sea plana en 0.05 mm (0.002") debe ser refrentado de acuerdo a lo indicado por la norma INV E-403. El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra se debe determinar con una precisión de 0.25 mm (0.01"), promediando los dos diámetros medidos en ángulo recto uno con respecto al otro y en la mitad del espécimen.
- 4.3 El número individual de cilindros medidos para la determinación del diámetro promedio se puede reducir a uno por cada diez especímenes o tres especímenes por día, lo que sea mayor, si se sabe que todos los cilindros han sido hechos con un único lote de moldes reutilizables que consistentemente producen especímenes de diámetro promedio en una variación de 0.50 mm (0.02"). Cuando el diámetro promedio con un rango de variación de 0.50 mm o cuando los cilindros no están hechos con un único lote de moldes, cada cilindro ensayado se debe medir y el valor encontrado ser usado en los cálculos de la resistencia a la compresión de cada muestra. Cuando los diámetros son medidos con frecuencia reducida, el área de los cilindros ensayados en un determinado día se calculará como el promedio de la de los tres (3) o más cilindros que representan el grupo ensayado dicho día.
- 4.4 Si el cliente que requiere los servicios solicita la determinación de la densidad de la muestra, se debe determinar la masa de la muestra antes del refrentado. Se debe remover cualquier humedad de la superficie con una toalla y medir la masa de la muestra usando una balanza o báscula con una precisión del 0.3%

de la masa que esté siendo medida. Se debe medir la longitud de la muestra con una aproximación de 1 mm (0.05”) en tres partes espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Se debe sacar un promedio de la longitud con una precisión de 1mm (0.05”). Alternativamente, se puede determinar la densidad del cilindro pesándolo en el aire y luego en el agua a $23^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ C}$ ($73.5^{\circ} \pm 3.5^{\circ} \text{ F}$), y calculando el volumen de acuerdo con lo indicado en la Sección 6.3.

Cuando no se requiera determinar la densidad y la relación longitud/diámetro del cilindro sea menor de 1.8 ó mayor de 2.2, la longitud de éste se deberá medir con una aproximación de 0.05D.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 El ensayo de compresión de muestras curadas en agua se debe hacer inmediatamente después de que éstas han sido removidas del lugar de curado.
- 5.2 Las muestras se deben mantener húmedas utilizando cualquier método conveniente, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de curado hasta cuando son ensayadas. Se deberán ensayar en condición húmeda.
- 5.3 Todos los especímenes de una edad determinada, se deben romper dentro de las tolerancias indicadas a continuación:

Tabla 2. Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes

Edad del Ensayo	Tolerancia Permisible
12 horas	0.25 horas ó 2.1%
24 horas	± 0.5 horas ó 2.1%
3 días	2 horas ó 2.8%
7 días	6 horas ó 3.6%
28 días	20 horas ó 3.0%
56 días	40 horas ó 3.0%
90 días	2 días ó 2.2%

- 5.4 *Colocación de la Muestra* – Se coloca el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior. Se limpian con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se coloca el espécimen sobre el bloque inferior.

Se alinea cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de presión del bloque superior. El bloque con rótula se debe rotar inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida en la Sección 3.2.

Antes de ensayar el espécimen se debe verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero.

5.5 Velocidad de Carga – Se aplica la carga continuamente sin golpes bruscos.

La carga se deberá aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 psi/s). La velocidad escogida se debe mantener, al menos, durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista. Sin embargo, no se deberá ajustar la velocidad de movimiento a medida que se está alcanzando la carga última y la tasa de aplicación de carga decrece debido al agrietamiento del cilindro.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ésta se controle para evitar cargas por impacto.

Nota 6.- Para máquinas de tipo tornillo o de deformación controlada, se requiere un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para generar la tasa de carga especificada. Dicha velocidad dependerá del tamaño del cilindro, del módulo elástico del concreto y de la rigidez de la máquina de ensayo.

5.6 Se aplica la carga hasta que el indicador señale que ella comienza a decrecer de manera continua y el cilindro muestra un patrón de falla bien definido (Figura 2). Si se usa una máquina equipada con un detector de rotura del espécimen no se permitirá su reconexión hasta que la carga haya caído a un valor menor de 95% de la máxima. Cuando se ensayan cilindros sin refrentar, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la carga última; en tal caso se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la carga última.

Se registra la carga máxima soportada por el cilindro durante el ensayo y se anota el patrón de falla de acuerdo con los modelos de la Figura “”, si se ajusta a alguno de ellos. En caso contrario se harán un dibujo y una descripción del tipo de falla producido.

Si la resistencia medida es muy inferior a la esperada, se examina el cilindro para detectar zonas con vacíos o con evidencias de segregación o si la fractura atraviesa partículas del agregado grueso y se verifican, también, las condiciones del refrentado.

6 CÁLCULOS

6.1 Se calcula la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, por el promedio del área de la sección transversal determinada en la forma descrita en la Sección 4.3, y expresando el resultado con una aproximación de 0.1 MPa (10 psi).

6.2 Si la relación entre la longitud del espécimen y su diámetro es 1.75 o menor, se corrige el resultado obtenido en la Sección 6.1, multiplicándolo por el factor apropiado de los que se indican a continuación (Nota 7):

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor	0.98	0.96	0.93	0.87

Nota 7.- Estos factores de corrección se aplican a concretos livianos que pesen entre 1600 y 1920 kg/m³ y a concretos de peso normal. Se aplican a concretos secos o húmedos en el momento de la carga. Los valores que no se dan en la tabla se pueden obtener por interpolación. Los factores de corrección se aplican a concretos con una resistencia entre 15 y 45 MPa (2000 a 6000 Psi). Para concretos de resistencia superior a 45 MPa (6000 psi) los factores de corrección pueden ser mayores que los mostrados en la tabla. Ver referencia: *Barlett, F.M. y J.G. MacGregor. "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength." ACI Materials Journal, Vol. 91, No. 4, July-August, 1994, pp. 339-348.*

- 6.3** Cuando se requiera, se calculará la densidad de la muestra con una precisión de 10 kg/m³ (1lb/pie³), de la siguiente manera:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V}$$

donde:

W = masa de la muestra, kg (lb), y

V = volumen de la muestra calculado con el diámetro promedio y la longitud promedio o pesando el cilindro en el aire y sumergido en agua, m³ (pie³)

Cuando el volumen es calculado sumergiendo la muestra, se determina de la siguiente manera:

$$V = \frac{W - W_s}{g_w}$$

donde:

W_s = masa aparente de la muestra sumergida, kg (lb), y

g_w = densidad del agua a 23° C (73.5° F) = 997.5 kg/m³ (62.27lbs/pie³).

7 INFORME

El informe de los resultados debe rá incluir:

- 7.1** Número de identificación del cilindro.
- 7.2** Diámetro (y longitud, si está por fuera del rango de 1.8D a 2.2D) en mm o pulgadas.
- 7.3** Área de la sección transversal (cm² o pulgada²).
- 7.4** Carga máxima (KN o lbf).

- 7.5 Resistencia a la compresión (MPa o psi), con una precisión de 0.1MPa (10 psi).
- 7.6 Edad del espécimen.
- 7.7 Defectos en el refrentado del espécimen.
- 7.8 Cuando se determine, la densidad con una precisión de 10 kg/m³ (1lb/pe³)
- 7.9 Tipo de falla (Figura 2).

8 PRECISIÓN Y TOLERANCIAS

- 8.1** *Precisión* – La precisión de los ensayos efectuados por un solo operador sobre cilindros individuales de 150 mm por 300 mm (6” x 12”) elaborados de una buena muestra de concreto, para cilindros hechos en el laboratorio y bajo condiciones normales de campo, esta dada en la tabla siguiente:

Un solo operador	Coeficiente de Variación	Rango aceptable de	
		Dos resultados	Tres resultados
Condiciones de laboratorio	2.37%	6.6%	7.8%
Condiciones de campo	2.87%	8.0%	9.5%

Los valores dados son aplicables a cilindros de 150 mm por 300 mm (6” x 12”) con resistencia a la compresión entre 15 MPa y 55 MPa (2000 psi y 8000 psi).

- 8.2** *Tolerancias* – Como no existe un material de referencia aceptado para la determinación de las tolerancias, no se hace ninguna declaración sobre el particular.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 39-04a/C 39M

AASHTO T 22 – 05

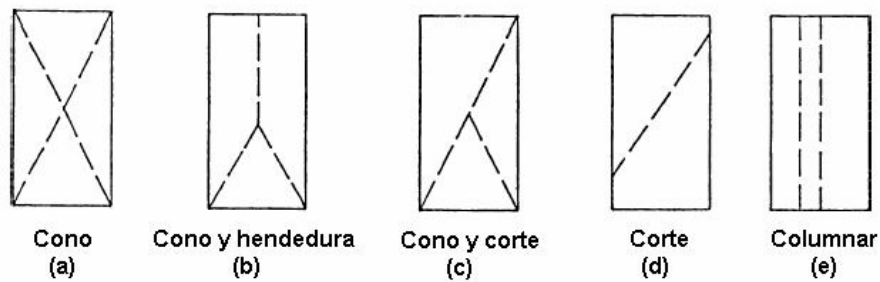


Figura 2. Esquemas de los tipos de falla

APÉNDICE A

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO CON REFRENTADO DE NEOPRENO.

A.1 OBJETIVO

Este método cubre el procedimiento para el ensayo de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto de 150mm (6”) de diámetro por 300 mm (12”) utilizando refrentado de neopreno con reguladores de fijación de acero.

Se deben tomar previsiones para sistemas alternos reutilizables de refrentado los cuales emplean otros materiales para la almohadilla y la fijación, diferentes del neopreno y del acero.

A.2 USO Y SIGNIFICADO

El uso de refrentado de neopreno deberá ser considerado como una alternativa adecuada para los ensayos de resistencia a la compresión. Los sistemas alternos de refrentado reutilizables deben ser verificados de acuerdo a las secciones A10 y A11.

A.3 EQUIPO

Se deben utilizar 2 reguladores de fijación de acero (ver Tabla A1). Una configuración aceptable para ellos se muestra en la Figura 3.

Todas las superficies de carga del regulador, tanto las interiores como exteriores, deben ser perfiladas con máquina con una precisión de 0.05 mm (0.002”). Durante su uso, la superficie de carga exterior se debe mantener libre de estrías, o indentaciones de profundidad mayor a 0.25 mm (0.010”) o con área de superficie de 32 mm² (0.05 pulg²). Tampoco se admiten protuberancias de cualquier tipo.

Tabla A1. Tolerancias

Diámetro interior del regulador	0mm (0")	+0.8mm(+1/32")
Pared del regulador	-1.6mm (-1/16")	+0mm (+0")
Cualquier tolerancia no especificada	-0.4mm (-1/64")	+0.4mm (+1/64")

Los casquetes de neopreno deben cumplir los requerimientos de la norma ASTM D 2000. Sus dimensiones deberán ser 155mm (6.12") de diámetro y 12.7mm (5") de espesor.

Se requiere una máquina de ensayo a la compresión que cumpla los requerimientos del método principal de ensayo.

A.4 PRECAUCIONES

Los cilindros de concreto ensayados con refrentado de neopreno se rompen con mayor intensidad que los cilindros similares ensayados con refrentado de mortero de azufre. Como una precaución de seguridad, la máquina de ensayo de cilindros deberá estar equipada con una cabina protectora.

La velocidad de carga para algunas máquinas de ensayo tendrá que ser ajustada cuando se utilice refrentado de neopreno.

A.5 MUESTRAS DE ENSAYO

Las muestras de ensayo deben ser las especificadas en el método de ensayo principal y modificadas como se explica a continuación:

Cada extremo del cilindro de concreto deberá ser nivelado con un margen dentro de 3 mm (0.12") a través de cualquier diámetro; es decir, no deberá haber ninguna depresión en las superficies del concreto con profundidad mayor de 3 mm (0.12"). Los cilindros que no cumplan con esta tolerancia no deberán ser ensayados, a menos que sea corregida primero cualquier irregularidad de la superficie.

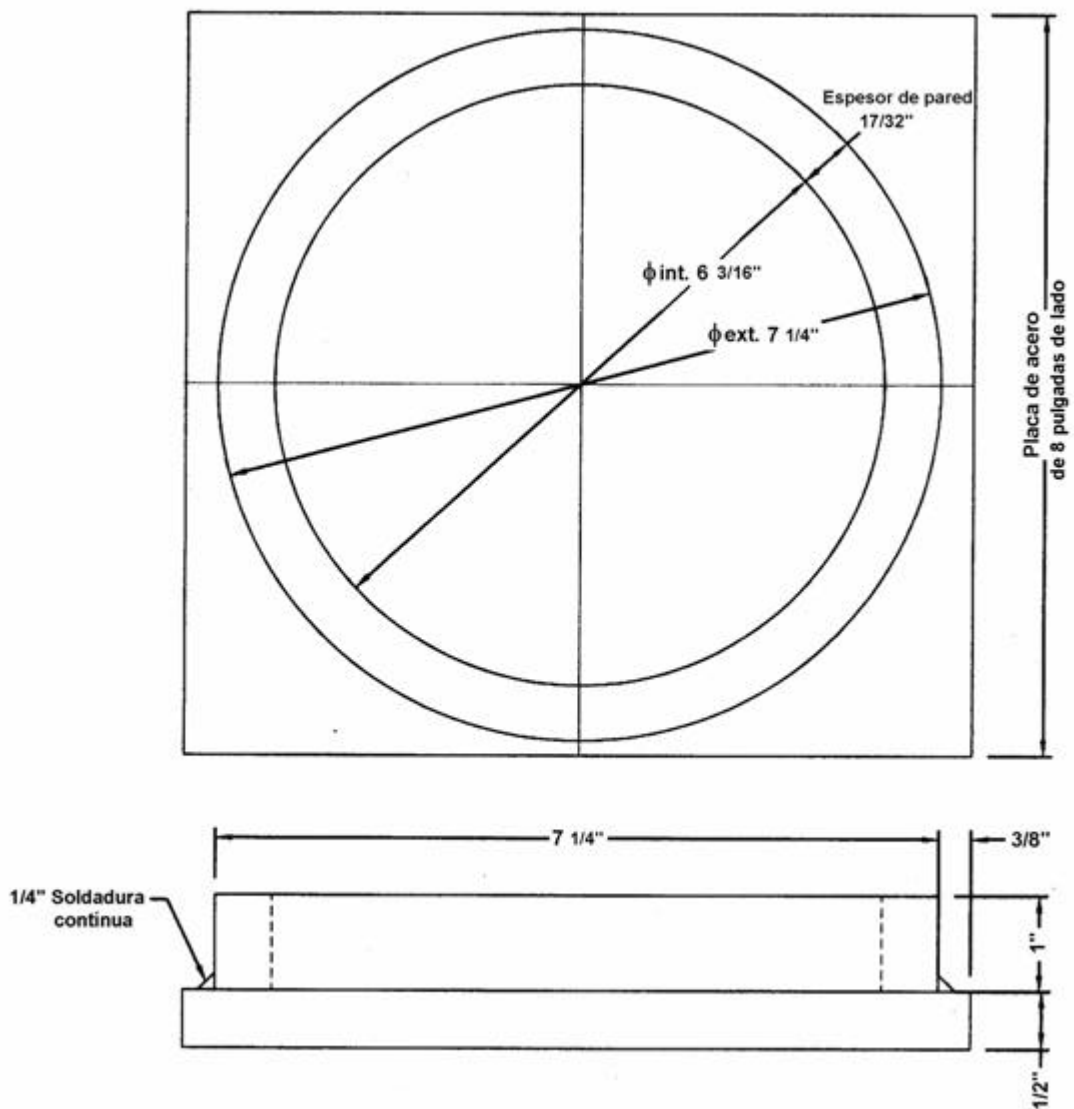


Figura 3. Regulador externo de fijación

Ninguno de los extremos de las muestras de ensayo a compresión se deberá separar de la perpendicularidad al eje en más de 2° (aproximadamente igual a la diferencia en altura de 5 mm (0.2")) para dos cilindros de diámetro 150 mm (6"). Los cilindros que no cumplan esta tolerancia no se deberán ensayar, a menos que se corrija primero esta irregularidad.

A.6 PROCEDIMIENTO

El procedimiento a seguir deberá ser el especificado en el método principal de ensayo, modificado como se indica a continuación:

Se coloca un regulador externo de fijación conteniendo un casquete de neopreno, en las superficies superior e inferior del cilindro de concreto. Con los casquetes de neopreno en contacto con el cilindro de concreto, se alinea cuidadosamente el eje de la muestra con el centro de empuje del bloque de carga con rótula. Se colocan las placas de carga de la máquina en contacto con ambos reguladores externos de fijación.

No debe haber partículas sueltas entre el cilindro de concreto y el casquete de neopreno ó entre las superficies de carga de los reguladores externos de fijación y las placas de carga de la máquina de ensayo.

La misma superficie del casquete de neopreno deberá descansar sobre el cilindro de concreto para todos los ensayos realizados con ese mismo casquete. Cada casquete de neopreno no deberá ser utilizado para más de 100 cilindros. La duración de almohadillas alternativas deberá ser verificada de acuerdo con la sección A.11.

A.7 CÁLCULOS

La resistencia a la compresión deberá ser calculada como se describe en la Sección 6.1 de la presente norma.

A.8 INFORME

El informe de los resultados debe incluir todos los ítems anotados en la Sección 7 prescritos en esta norma.

A.9 PRECISIÓN

La variación en el ensayo asociada al refrentado con neopreno no es más alta y posiblemente sea más baja que la asociada al refrentado con azufre. Los resultados de un estudio indican que los coeficientes de variación asociados al refrentado con neopreno estuvieron dentro del rango 0.0 a 4.0 %, considerado para representar un excelente control.

Los refrentados de neopreno se deben considerar como un sustituto aceptable del refrentado de azufre sin correcciones por diferencias aparentes de resistencia.

A.10 SISTEMAS ALTERNOS DE REFRENTADO REUTILIZABLE

Existen diversos sistemas comerciales que emplean almohadillas de refrentado reutilizables, fabricadas con materiales diferentes al neopreno y reguladores externos de fijación con metales distintos al acero. Un sistema de refrentado reutilizable alternativo podrá ser empleado siempre que el siguiente criterio y las verificaciones del fabricante, y de la agencia (o del comprador) sean satisfechos.

A.11 CRITERIOS PARA ACEPTAR SISTEMAS ALTERNOS DE REFRENTADO REUTILIZABLE

El sistema debe emplear refrentados reutilizables retenidos en los reguladores externos de fijación. Las tolerancias de todas las superficies de carga de los reguladores externos de fijación deberán cumplir los requerimientos de la sección A.

El refrentado reutilizable deberá suministrar un espesor compresible de mínimo 12.7 mm (0.5") en toda el área de carga. El fabricante deberá producir un refrentado reutilizable que sea uniforme en dimensiones y propiedades físicas.

A.11.1 Verificación por parte del fabricante de los sistemas de refrentado reutilizable:

El fabricante deberá suministrar resultados de un experimento factorial de dos factores, con el método de refrentado como factor principal y una bachada de concreto como factor secundario. Para la estimación de varianzas por error, interacción entre factores, o para factores, el factor del sistema de refrentado deberá ser considerado como una variable fija y el factor de bachada como una aleatoria. El experimento deberá ser repetido a tres niveles de la resistencia del concreto a los 28 días, representando un rango de resistencia promedio de 15 a 45 MPa (2000 a 6000 psi), como 15 (2000), 30 (4000), 45 (6000) MPa (psi). El nivel de significación del ensayo F para medir la significación de la diferencia entre varianzas deberá ser 0.05.

Al conducir el experimento, un mínimo de ocho bachadas de cuatro cilindros por bachada deberán ser preparadas para cada nivel de resistencia, proporcionando dos réplicas para cada método de refrentado por combinación de bachada. Dentro de cada bachada, se deben escoger aleatoriamente igual número de cilindros para ensayarlos con el sistema de refrentado reutilizable y por el método del azufre (norma INV E – 403). La secuencia de ensayo para el método refrentado por bachada por nivel de resistencia se deberá hacer aleatoriamente. Si las instalaciones del laboratorio no permiten fabricar todos los cilindros en un solo día, los cilindros para un nivel completo de resistencia deberán ser fabricados en tres días sucesivos; la secuencia de ensayo por el método de refrentado por bachada será aleatoria. Se deberá emplear un grupo de almohadillas nuevas para todos los ensayos dentro de cada nivel de resistencia. A opción del fabricante, se podrá utilizar un grupo de almohadillas nuevas para todos los ensayos en todos los niveles de resistencia; pero la secuencia de ensayo por el método de refrentado por bachada por nivel de resistencia deberá ser aleatorias.

Las equivalencias estadísticas específicas que el fabricante debe demostrar deberán ser como se indica a continuación:

El análisis de la varianza de cada nivel de resistencia no deberá mostrar un efecto significativo del método de refrentado.

El promedio de las diferencias en resistencia estimado entre los métodos de refrentado utilizando los promedios de las celdas para cada método de refrentado por bachada por nivel de resistencia no deberá ser significativamente diferente de cero. Se deberá utilizar el ensayo testigo *t* con un nivel de significancia de 0.10.

Nota A.1.- Una referencia que describe experimentos factoriales es “*Fundamental Concepts in the Design of Experiments*” de Charles R. Hicks, publicado por Holt, Rinehart, y Winston.

A.11.2 Verificación de los sistemas de refrentado reutilizable por parte de la agencia (o del comprador):

Antes de implementar un sistema de refrentado reutilizable, la agencia (o el comprador) deberá llevar a cabo una evaluación interna comparando resistencia a la compresión y la variabilidad para grupos de cilindros de campo fabricados de las mismas muestras de concreto; el sistema de refrentado reutilizable deberá ser comparado con el descrito en la norma INV E – 403. El ensayo testigo *t* deberá ser utilizado con un nivel de significancia de 0.10.

Se deberán comparar un mínimo de 30 grupos de cilindros para la resistencia a la compresión para una evaluación con un grupo de almohadillas reutilizables; sin embargo, el número de grupos se debe incrementar (para determinar la vida útil) si el refrentado reutilizable no ha desarrollado un daño visible como rajaduras, ranuras o compresión permanente en el área de carga en 30 repeticiones. La evaluación se deberá repetir al menos una vez con un nuevo grupo de refrentado reutilizable. Se deberán utilizar cilindros de control de trabajo de dos o más por grupo obtenidos de la misma muestra. Si los cilindros son obtenidos de batchadas sucesivas en el laboratorio, la selección de los cilindros se deberá hacer aleatoriamente entre batchadas por método de refrentado.

La agencia (o comprador) deberá rechazar un sistema de refrentado reutilizable si la evaluación interna muestra una diferencia significativa en la resistencia a la compresión o en la variabilidad en relación con el procedimiento de la norma INV E – 403.

La agencia (o comprador) deberá reservarse el derecho a rechazar un sistema de refrentado reutilizable si el número de posibles repeticiones o la vida útil de un grupo de almohadillas no es aceptable para la agencia (o para el comprador).

Nota A.2.- Este método es acorde técnicamente con la norma ASTM C 39-04a, excepto por el uso del sistema internacional de unidades y el apéndice A.